



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**Recinto Universitario “Rubén Darío”**

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**

**Departamento de Física**

**Seminario de Graduación para Optar al Título de Licenciado en Física con Mención  
en Física Médica**

**Título del Tema: Metrología de las radiaciones**

**Subtema: Elaboración de un protocolo de calibración de monitores de contaminación  
superficial en la magnitud de Emisión Superficial.**

**Tutor: MSc. Fredy Israel Somarriba**

**Asesor: MSc. Norma Roas Zúniga**



**Elaborado por:**

**Br. Elieser David Rivera Cruz**

**Br. Jeniffer del Carmen Chavarría Rodríguez**

**Abril 12, 2019**

## Indice

Dedicatoria .....	3
Agradecimientos.....	4
Valoración del docente .....	5
I. Resumen .....	6
II. Introducción .....	8
III. Justificación .....	9
IV. Objetivos .....	10
 Objetivo General .....	10
 Objetivos Específicos .....	10
V. Desarrollo.....	11
5.1 Radiación ionizante <sup>[4]</sup> .....	11
5.2 Contaminación superficial <sup>[1]</sup> .....	11
5.3 La Norma ISO 7503-3 <sup>[2]</sup> .....	12
5.4 Descripción del detector LB 124.....	13
5.5 Monitor de contaminación superficial BERTHOLD LB 124. ....	13
VI. Protocolo de calibración de monitores de contaminación superficial.....	15
VII. Conclusiones .....	35
VIII. Recomendaciones .....	36
IX. Bibliografía .....	37
X. Anexos.....	38

## **Dedicatoria**

Primero que todo quería agradecerle a dios por darme el regalo de la vida y el haber logrado tantas cosas durante esta.

En segundo lugar, infinitamente a mi querido padre por todas las horas de trabajo y sacrificio para sacarme adelante y darme la oportunidad de estudiar y tener una carrera, aunque no estés físicamente conmigo sé que desde el cielo me estás viendo y te sientes orgulloso de la persona en que me he convertido te amo papa y te extraño mucho.

Por último, pero no menos importante agradecerle a mi madre, mis hermanos, mi esposo y mi hija por el tiempo sacrificado y por el impulso siempre de seguir adelante y no dar marcha atrás, los amo inmensamente.

**Jeniffer Chavarría.**

Primeramente, darle gracias a Dios, porque sin el nada es posible en este mundo.

En segundo lugar, agradecer a mis padres: **José santos Rivera González y Martha Yadira Cruz Ríos**, por cada sacrificio que hicieron por sacarme adelante y que no me hiciera falta nada en todos los momentos de dificultades económicas que se presentaron en el transcurso de mi carrera. A mi Tío **Luis Manuel Cruz Ríos** porque siempre estuvo apoyando económicamente, y a mi primo **Lignares Antonio Martínez Rivera** que, siempre estuvo ayudándome, motivándome, aconsejándome todo el tiempo para poder salir adelante.

A todos los docentes de la UNAN-Managua que a lo largo de nuestra carrera influyeron para instruirnos como buenos estudiantes y futuros profesionales.

**Elieser David Rivera Cruz.**

## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios por la vida, por guiarnos a todo lo largo de nuestra existencia por ser nuestro apoyo y fortaleza en los momentos difíciles y debilidades.

Gracias a nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por todos sus consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A nuestros docentes de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua UNAN - Managua. En especial a los docentes del departamento de Física por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión de manera especial al Dr. Noel Zelaya director del departamento de Física, al MSc. Fredy Israel Somarriba y MSc. Norma Roas Zúniga por ser nuestros asesores y tutores de nuestro trabajo de Seminario de Graduación, quienes los guiaron con paciencia, dedicaron tiempo y sus conocimientos.

## Valoración del docente

Managua, Nicaragua  
28 de marzo de 2019

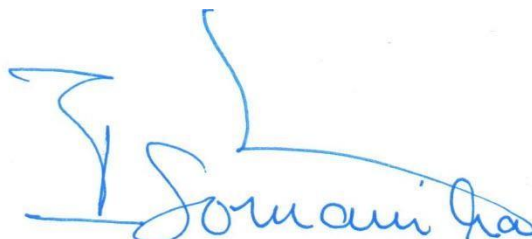
Dr. Noel Zelaya  
Director  
Departamento de Física Facultad  
de Ciencias e Ing.  
UNAN-Managua, Managua

Estimado Dr. Zelaya:

Por este medio estoy haciendo llegar mi valoración como tutor del seminario de graduación realizado por los Br. Jeniffer del Carmen Chavarría Rodríguez y el Br. Elieser David Rivera Cruz, considero que el trabajo cumple con los requisitos establecidos con el actual reglamento estudiantil vigente. Este trabajo ha sido un gran aporte al Laboratorio de Calibración Dosimétrico del LAF-RAM donde se iniciará con el nuevo servicio de calibraciones de monitores de contaminación superficial. El trabajo tiene por título “Elaboración de un protocolo de Calibración de monitores de contaminación superficial en la magnitud de Emisión Superficial en LCD del LAF-RAM en el período del 10 de enero al 21 de marzo de 2019. Considero que los estudiantes se han esforzado y que se merecen una excelente nota. Agradecería su gestión para que la defensa sea realizada según en el cronograma acordado. Agradeciendo de antemano su gestión y aprovecho la ocasión para

Saludarlo.

Atentamente,



MSc. Fredy Israel Somarriba

Tutor

Docente Departamento de Ciencias e Ing.  
UNAN-Managua, Managua

## I. Resumen

En la metrología de las radiaciones una de las áreas fundamentales es la calibración, nosotros enfocamos este trabajo se elaboración de un protocolo para calibrar detectores que miden la contaminación superficial, una de las partes importantes de este documento es la creación de un procedimiento de calibración basado en la norma ISO 7503-3 (Measurement of radioactivity Measurement and evaluation of surface contamination Part 3 Apparatus calibration), usando un set de 10 fuentes planas del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM), ubicado en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-MANAGUA)

El alcance de este protocolo es aplicar la metodología para la calibración de monitores de contaminación superficial que pueden medir los diferentes tipos de radiación Alfa, Beta y Gamma. Estos instrumentos pueden ser portátiles o estacionarios, generalmente son utilizados en las practicas con fuentes abiertas donde existe la probabilidad de una contaminación superficial. Estos monitores tienen la opción de medir tasas de conteo, expresadas en cuentas por segundo (cps), o cuentas por minuto (cpm).

El set de fuentes planas de calibración está compuesto por los siguientes radionúclido ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  y  $^{129}\text{I}$ ) estas tienen impreso en una de sus caras la siguiente información el nombre del radionúclido, emisión superficial, fecha de calibración y tienen de  $100\text{ cm}^2$ .

La calibración se realiza sobre una mesa de trabajo nivelada y con la ayuda de una plantilla con 9 posiciones cada una  $100\text{ cm}^2$  permite la ubicación precisa del detector, utilizando un sistema de montaje para sujeción del detector a calibra el cual se ubica a 3mm de la fuente de calibración.

El método de calibración va a estar en dependencia del tamaño de la ventana del detector, si la ventana del detector es menor a  $100\text{ cm}^2$  simplemente se ubica la fuente de calibración en la posición 5 alineada con el detector si el área del detector es mayor a  $100\text{ cm}^2$  se simula una fuente infinita de calibración, dejando fijo el detector y la fuente es posicionada en los 9 áreas, iniciando las mediciones en el punto 5 del área de montaje del monitor.

Utilizando el formalismo de la ISO 7503-3 es posible determinar la eficiencia del instrumento para cada fuente, así como el cálculo del factor de calibración que dependerá de la contribución de cada fuente por rango de energía. Para validar nuestro protocolo se hizo la calibración de un detector de contaminación superficial marca BERTHOLD modelo LB124, con número de serie 201058 se obtuvo el factor de calibración del detector de  $FC = 0.020[\text{Bq.cm}^{-2}.\text{s}]$

## II. Introducción

La contaminación radiactiva superficial es la presencia de sustancias radiactivas en una superficie y se expresa en unidades de actividad por unidad de área, en el Sistema Internacional es becquerels por metro cuadrado ( $\text{Bq/m}^2$ ). Los dos tipos de contaminación superficial son: contaminación fija y contaminación removible, ambas con diferente metodología para evaluar la contaminación. Los instrumentos más comunes utilizados para medir la contaminación superficial son: los Centelladores, Contadores Proporcionales y el detector Geiger-Müller. (7503-3, 2016)

El monitoreo de la contaminación superficial es un proceso importante para la protección radiológica, pues es necesario detectar la contaminación radiactiva y su extensión, con el objetivo de verificar que los límites permitidos de radiación no sean excedidos. Por lo tanto, los instrumentos deben ser debidamente calibrados.

En este trabajo se elaboró un protocolo de calibración de monitores de contaminación superficial, en donde se utilizaron un set de 10 fuentes planas con diferentes radionúclidos, aplicando el método de calibración dependiendo del tamaño de la ventana de medición, si el área del detector es mayor a  $100 \text{ cm}^2$  se utiliza la metodología de fuente infinita, el cual utilizamos para calibrar el detector Berthold, donde consiste en determinar la respuesta del detector con respecto a una fuente sumando las contribuciones de todas las posiciones que cubran totalmente el área del detector, ubicando las fuentes en las diferentes posiciones, debajo de un detector que ha sido alineado sobre una base geométrica donde esta graduada con una numeración del 1 al 9, en donde el punto de referencia central es el número 5, una vez estando el montaje debemos ubicar el detector a 3 mm de la fuente para iniciar el proceso de calibración.



### **III. Justificación**

En Nicaragua existen dos hospitales donde se trabaja con fuentes abiertas, lo que implica que existe la probabilidad de que ocurra un derrame de material radioactivo, el cual solamente es posible cuantificar esta contaminación superficial con detectores adecuados, sin embargo estos detectores deben de ser calibrados según la frecuencia estipulada en nuestra reglamentación nacional. La adquisición de un juego de 10 fuentes radiactivas planas permitirá realizar las calibraciones de los monitores de contaminación superficial en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM).

La implementación del resultado de la Elaboración de un protocolo de Calibración de monitores de contaminación superficial en la magnitud de Emisión Superficial tiene un impacto positivo en los usuarios finales, ya que es posible cuantificar los niveles de contaminación superficial, y tomar acciones en dependencia del grado de magnitud medida de la contaminación superficial.

El aporte social está dado en poder calibrar detectores contaminación superficial en Nicaragua, es disminuir gastos a los usuarios para el envío, calibración, devolución del equipo y el desaduanaje de los monitores.

## **IV. Objetivos**

### **Objetivo General**

1. Elaborar un protocolo de calibración para monitores de contaminación superficial basado en la Norma Internacional ISO 7503-3 Measurement of radioactivity Measurement and evaluation of surface contamination Part 3 Apparatus calibration, usando un set de 10 fuentes planas en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM), ubicado en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-MANAGUA)

### **Objetivos Específicos**

1. Elaborar el procedimiento de calibración para detectores de contaminación superficial utilizando un set de 10 fuentes planas patrones calibrados en emisión superficial.
2. Proponer una base geométrica para el posicionamiento de los detectores de contaminación superficial en las calibraciones.
3. Validar el protocolo realizando una calibración de un monitor de contaminación superficial para el radionúclido de  $^{131}\text{I}$  aplicando la Norma Internacional ISO 7503, 2016.

## **V. Desarrollo**

### **5.1 Radiación ionizante <sup>[4]</sup>**

Las radiaciones ionizantes son aquellas radiaciones con habilidad para excitar e ionizar átomos de la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo. La energía necesaria para que un electrón de valencia escape del átomo es 1 del orden de 4-25 eV, las radiaciones deben transportar energías superiores a esta magnitud para llamarlas “ionizantes”. (Attix., 2004)

### **5.2 Contaminación superficial <sup>[1]</sup>**

La contaminación superficial es definida como la presencia no deseada de sustancias radiactivas en una superficie. La contaminación superficial se divide en dos tipos, fija o removible. La contaminación superficial fija es la contaminación adherida a una superficie, de tal manera que no es transferible en condiciones normales de trabajo. La contaminación superficial removible es la contaminación superficial que es trasladable bajo condiciones normales de trabajo. La actividad de una sustancia radiactiva se determina por el valor del número de desintegraciones que sufre por unidad de tiempo. En el Sistema Internacional la contaminación superficial se expresa en becquereles por metro cuadrado (Bq/m<sup>2</sup>). (7503-1, 1988)

La contaminación superficial se puede determinar mediante dos métodos, directo e indirecto. El método directo, realiza la medición de la actividad de la superficie por medio de un medidor o monitor de contaminación. El método indirecto, evalúa la actividad removible en la superficie por medio de una muestra.

### 5.3 La Norma ISO 7503-3 <sup>[2]</sup>

Medición de la radiactividad. Medición y evaluación de la contaminación de la superficie.

Parte 3: Calibración de aparatos.




ISO 7503 e ISO 8769 están dirigidos a las personas responsables de determinar la radioactividad presente en superficies sólidas.

Se aplica a la evaluación de la contaminación de las superficies en términos de actividad por unidad de área mediante métodos de medición directos e indirectos y se ocupa de los aspectos complejos de la calibración del instrumento.

Es aplicable a superficies bien definidas, como las de equipos e instalaciones, contenedores de materiales radiactivos, fuentes selladas y edificios o terrenos.

Se puede utilizar para el laboratorio y el control del equipo / instalación y para las actividades de remediación y monitoreo para cumplir con los criterios de liberación.

Esta parte de ISO 7503 también se refiere a lo siguiente:

-  Laboratorios o instituciones de calibración que se ocupan de los radionúclidos con características de emisión complejas o radionúclidos para los que no se dispone de fuentes de calibración de referencia.
-  Instituciones enfrentadas con la tarea de evaluar las contaminaciones de la superficie que consisten en una mezcla de radionúclidos.
-  Las instituciones/autoridades que controlan el transporte de material nuclear o la remoción de material/equipo de acuerdo con los valores de las normas de la legislación nacional o los límites de los convenios internacionales.

ISO 7503-3: 2016 no se aplica a la contaminación de la piel, la ropa o el material suelto, como la grava.

#### **5.4 Descripción del detector LB 124**

El monitor de contaminación contiene tubos de contadores proporcionales para medir la radiactividad. El funcionamiento de estos tubos de conteo, se basan en el principio de multiplicación de carga en las inmediaciones de un cable de conteo delgado, al que se le aplica un alto voltaje positivo y es rodeado por un contador de gas especial (gas P-10, Butano, Xenón).

Las partículas alfa y beta que ingresan al tubo contador, ionizan los átomos del gas en su trayectoria, creando así portadores de carga (iones y electrones). Los electrones que se liberan en este proceso se mueven con alta velocidad hacia el ánodo del cable y mientras más se acercan, ganan más energía, hasta que nuevos pares de iones son creados y el número de estos pares de iones incrementa en la proximidad de estos cables de conteos. Mediante este proceso de multiplicación la carga entra en un rango medible. La carga creada, es decir, los pulsos eléctricos creados en el cable de conteo, son proporcionales al número de carga primaria (ionización primaria).

Por lo tanto, pueden distinguirse las partículas alfa o beta. El alto voltaje aplicado a la multiplicación de carga, difiere para la medición de fuentes alfa, beta o gamma y es, empíricamente, determinado por cada detector.

#### **5.5 Monitor de contaminación superficial BERTHOLD LB 124.**

El monitor de contaminación portable LB 124, es un instrumento diseñado para la detección y medición de fuentes beta y gamma en superficies como: paredes, mesas, objetos, ropa o piel. Está compuesto de una unidad de despliegue con un micro-procesador electrónico y un tubo de contador proporcional insertado en la parte de abajo del instrumento, con una ventana de área efectiva de 172,8 cm<sup>2</sup>.

Los resultados pueden ser mostrados en tasa de conteos (cps = conteos por segundo) o actividad de área (Bq/cm<sup>2</sup>).

a) Unidad de despliegue del detector

b) Ventana del detector



b) Ventana del detector

Fuente: propia

**Figura 1. Monitor de contaminacion superficial LB 124.**

## **VI. Protocolo de calibración de monitores de contaminación superficial**

### **Objetivo**

1. Utilizar normas, sistema de posicionamiento de detectores de contaminación superficial y procedimiento para determinar el factor de calibración de un monitor de contaminación la eficiencia superficial, usando un set de fuentes planas patrones calibradas en emisión superficial.

### **Introducción**

La calibración de detectores de contaminación superficial lo realizan los laboratorios que tienen la infraestructura para esto, que cuente con un set de fuentes planas calibradas en emisión superficial, y que además posea un sistema de posicionamiento que sea reproducible estable y que se adapte a los diferentes tipos de detectores.

El set de fuentes con emisiones de partículas de  $\beta$  y  $\bar{e}$  que inician con energías del orden de los 40 keV hasta valores mayores de 400 keV y los fotones de 5 hasta energía mayores de 300keV, separados por grupos de energías. Se considero el decaimiento de cada fuente, obteniendo el valor de emisión superficial a la fecha de calibración.

El posicionamiento que se utiliza es poder sostener un detector de contaminación superficial sobre una plantilla que tiene marcada 9 áreas cada una de 100cm<sup>2</sup>, siendo el área central la numero 5, la distancia entre la fuente y la superficie activa del detector siempre debe ser 3 mm.

La selección del método de calibración esta basado en el tamaño del área activa del detector de contaminación superficial, se considera los casos cuando el área activa de medición sea menor a 100 cm<sup>2</sup> o cuando sea mayor a este valor.

Se creó la plantilla para la toma de datos ver anexo [ Imagen 3] donde se muestra la posición del detector en la plantilla y las cuentas por segundo que se obtienen para cada fuente en los diferentes áreas de la plantilla.

Las tasas de conteo neta para cada fuente en las nueve posiciones (simulando una fuente infinita) nos permiten calcular la eficiencia del detector para este rango de energía, si repetimos el proceso para las otras nueve fuentes, tendríamos las eficiencias para cada rango de energía.

Aplicando el formalismo establecido en la norma ISO 7503-3 (2016) donde se parte del conocimiento de las eficiencias para cada rango de energía se conoce la probabilidad de emisión y considerando la contaminación de la fuente efectiva, podemos multiplicar estos valores para encontrar el inverso del factor de calibración, si consideramos el área del detector se determina el factor de calibración del detector en unidades [ $Bq \cdot cm^{-2} \cdot s$ ]

### **Instrumentación**

- + Fuentes planas:  $^{90}Sr$ ,  $^{36}Cl$ ,  $^{14}C$ ,  $^{241}Am$ ,  $^{14}C$ ,  $^{99}Tc$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^{57}Co$ ,  $^{238}Pu$  y  $^{129}I$
- + Sistema de posicionamiento con sujetador de detector
- + Láminas de espesor de 3 mm
- + Plantilla para el posicionamiento
- + Detector marca BERTHOLD, modelo LB 124 SCD, número de serie: 201058
- + Barómetro
- + Termómetro
- + Higrómetro
- + Multímetro Digital



## **Metodología**

### **Procedimiento para la calibración de monitores de contaminación superficial**

#### **1. Alcance**

Este procedimiento de calibración se aplica a monitores de contaminación superficial medidores de radiación Alfa y Beta y Gamma. Estos instrumentos pueden ser portátiles o estacionarios, utilizados en protección radiológica, independientemente del tipo de detector. Estos monitores tienen sus escalas generalmente expresadas en tasa de conteo, conteo por segundo (cps), ( $\text{min}^{-1}$ ,  $\text{cm}^{-2}$ ), o conteo por minuto (cpm).

#### **2. Descripción**

##### **2.1 Método de calibración**

Método de comparación de las indicaciones del instrumento con los valores convencionalmente verdaderos de la tasa de emisión superficial de la fuente plana patrón y en concordancia con el reporte técnico No. 16 del OIEA <sup>[5]</sup>. Se simula una geometría semifinal de irradiación según recomendaciones del reporte CIRM 6 de la NPL <sup>[6]</sup>.

#### **Preparación de las condiciones del LABORATORIO o del puesto de trabajo para los monitores estacionarios.**

Las calibraciones de los monitores de contaminación portátiles se realizarán en un puesto de trabajo ubicado en la sala de control del LCD.

Antes de iniciar la calibración del monitor, es necesario verificar las condiciones de funcionamiento del mismo, ejecutando algunas pruebas preliminares cuyos resultados no necesitan ser registrados durante la calibración, pues pueden ser corregidos, en caso necesario. Mientras tanto el instrumento no supere las pruebas preliminares no se procederá a su calibración. En este caso se emitirá un dictamen técnico con el resultado de la prueba. Las pruebas incluyen las siguientes etapas.

Chequeo de las condiciones ambientales, en este caso que los valores de temperatura no superen los 30° y la humedad relativa por debajo del 80%.

Verificar el funcionamiento de la batería, colocando el selector en la posición indicada por el fabricante y comprobando que la aguja del instrumento se ubique en la posición normal. En el caso de los monitores con escala digital, verificar a través de la señal luminosa.

## **2.2 Ajustes del cero y mediciones para determinar el fondo propio del detector**

Se encenderá el instrumento 15 minutos antes de comenzar las mediciones de fondo.

De ser necesario se procederá al ajuste del cero del instrumento según lo descrito en el manual técnico del instrumento.

Para las mediciones de fondo se colocará el detector en el soporte de calibración sin la fuente radioactiva y se tomarán 5 mediciones ( $M_f$ ) separadas entre sí por intervalos equivalentes a  $3t$ , donde  $t$  es la constante de tiempo del monitor. La media de las indicaciones se tomarán según:

$$B_f = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_{fI} \quad [\text{ecuación 1}]$$

Donde

$B_{fI}$  Lectura del fondo radiactivo del monitor [*cps, cpm*].

$n$  Número de mediciones

$B_f$  Media de 5 lecturas del fondo realizadas con el instrumento BERTHOLD LB 124

## **2.3 Calibración del instrumento**

### **Cuando el área del detector es mayor a $100 \text{ cm}^2$**

El método de las posiciones contiguas consiste en determinar la respuesta del detector con respecto a una fuente de calibración colocada en posiciones adyacentes debajo del detector del monitor, sin superponerse, hasta que toda el área del detector sea barrida (Figura 1). Las respuestas son entonces corregidas al fondo y sumadas juntas para dar la respuesta total de una fuente de calibración de área igual al área total barrida por las posiciones individuales de la fuente. El juego de fuentes planas tienen un área de  $100 \text{ cm}^2$ .

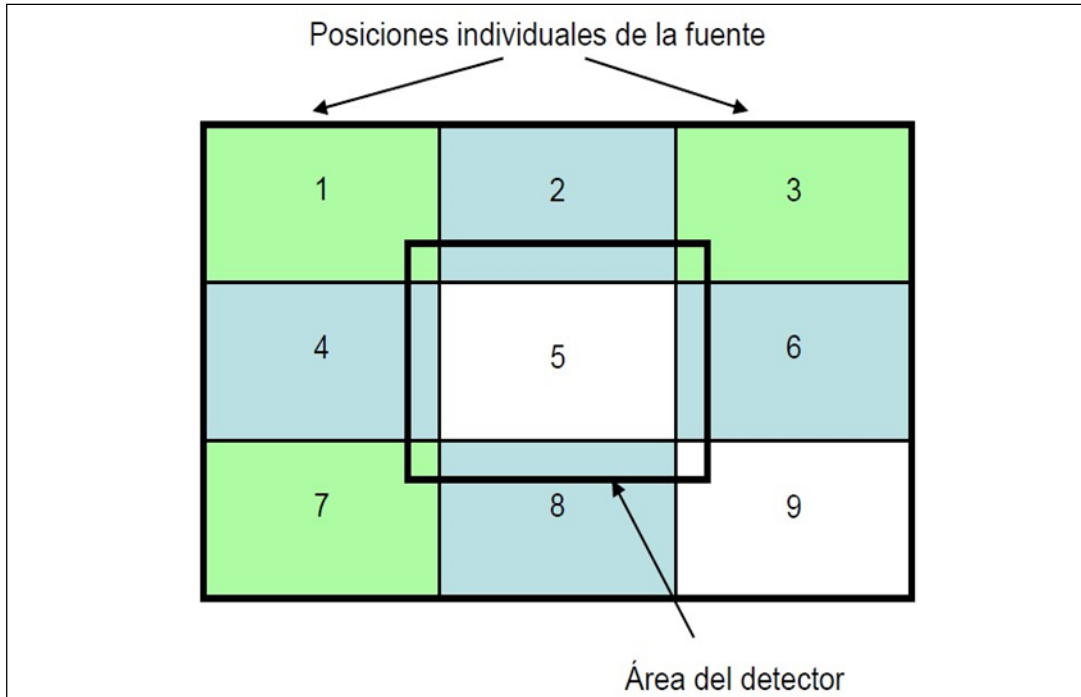


Figura 2. Representación gráfica del método de las posiciones contiguas.

#### 2.4 Posicionamiento del instrumento para la calibración

Colocar la fuente sobre la cuadrícula 5 (Figura.2) y luego fijar el detector concéntricamente sobre la cuadrícula (hacer coincidir concéntricamente detector, fuente y cuadrícula), de manera que la distancia fuente detector sea de 3 mm.

Realizar cinco mediciones en la cuadrícula central (5) separadas entre sí como mínimo por intervalos equivalentes  $5t$  y anotar los resultados en una hoja de cálculo Excel luego desplazar la fuente por el resto de las cuadrículas hasta barrer el área total del detector, anotando los resultados en el mismo registro.

Fijar el detector concéntricamente sobre la cuadrícula (con el centro del detector coincidiendo con el centro de la posición central de la fuente), de manera que la distancia fuente detector sea de 3 mm.

$$B_{inst} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_i \quad [ecuacion 2]$$

Donde

$B_i$  Lectura del monitor [*cps, cpm*]

La calibración del monitor consistirá en calcular la eficiencia del instrumento, su respuesta total con la tasa de emisión superficial corregida por el decaimiento de la fuente, por unidad de área de la fuente de calibración y por el área de la ventana del detector del instrumento. Esta puede ser expresada algebraicamente como siguiente:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i - B_b)}{\frac{q_{2\pi}}{w_s} \cdot w} \quad [\text{ecuación 3}]$$

Donde

$\varepsilon$  Eficiencia del detector

$B_i$  Respuesta del detector en posiciones i de la fuente ( $s^{-1}$ )

$B_b$  Fondo ( $s^{-1}$ )

$q_{2\pi}$  Tasa de emisión superficial ( $s^{-1}$ )

$w_s$  área de la fuente ( $cm^2$ )

$w$  área del detector ( $cm^2$ )

## 2.6 Validación del protocolo

La realización del protocolo de calibración de monitores de contaminación superficial se validó en usar un set de fuentes planas patrones calibrados en emisión superficial, mediante un posicionamiento que sea reproducible, estable y que adapte los diferentes tipos de detectores, utilizando un posicionamiento que permita sostener un detector de contaminación superficial sobre una plantilla que tiene marcada 9 áreas cada una de  $100\text{ cm}^2$ , en donde la distancia entre la fuente y la superficie activa del detector siempre debe ser 3mm. Obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 1. Medidas de fondo tomadas en la sala sin fuente radiactiva.**

Área del detector (cm <sup>2</sup> )	Medidas de fondo (cps)
<b>172,8</b>	5,0
	4,9
	4,9
	5,0
	5,1
<b>Promedio</b>	<b>5,0</b>

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124 ubicado en la sala, sin utilizar la fuente radiactiva plana.

**Tabla 2. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente <sup>90</sup>Sr**

Calidad de la radiación	Posiciones relativas de la fuente (cps)								
<b><sup>90</sup>Sr (AI-8952)</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
	2269	43,6	432	36,5	221,7	160,2	37,3	340	41,6
	2279	44,4	432	35,6	222,8	160,1	37,4	342	41,4
	2275	44,7	432	36,7	222,3	159,8	37,2	342	41,6
	2288	44,8	432	36,7	222,1	159,9	37,2	342	40,7
	2287	45,1	433	36,6	221,4	159,8	37,2	342	40,7
	2275	39,5	427	31,4	217	155	32,3	337	36
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>3550</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restandole el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 3. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{36}\text{Cl}$**

Calidad de la radiación	Posiciones relativas de la fuente (cps)								
$^{36}\text{Cl}$ (AI-8953)	5	1	2	3	4	6	7	8	9
	1034	23,7	128,0	15,9	96,2	67,5	21,6	174,8	22,3
	1037	23,6	128,1	15,8	96,4	67,5	21,4	175,2	22,7
	1036	23,6	127,6	15,9	96,3	67,7	21,4	175,7	22,4
	1037	23,5	127,1	15,8	96,2	67,6	21,1	175,5	22,5
	1036	23,5	126,9	15,9	96,0	67,2	21,3	175,6	22,6
	1031	18,6	123	10,9	91	63	16,4	170	17,5
Promedio total (cps)	1541								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restandole el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de  $100\text{ cm}^2$  enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 4. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{14}\text{C}$**

Calidad de la radiación	Posiciones relativas de la fuente (cps)								
$^{14}\text{C}$ (AI-8954)	5	1	2	3	4	6	7	8	9
	285	6,7	45,1	5,9	17,4	18,8	8,0	49,6	6,5
	285	6,7	45,1	6,0	17,5	18,9	8,1	49,8	6,5
	285	6,7	45,0	6,2	17,4	18,8	8,0	50,1	6,6
	284	6,8	45,2	6,3	17,4	18,8	8,1	49,8	6,5
	285	6,7	45,4	6,5	17,5	18,8	7,9	49,7	6,7
	280	1,7	40,2	1,2	12,5	13,8	3,0	44,8	1,6
Promedio total (cps)	399								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 5. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{99}\text{Tc}$**

<b>Calidad de la radiación</b>	<b>Posiciones relativas de la fuente (cps)</b>								
<b><math>^{99}\text{Tc}</math> (AI-955)</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
	754	12,8	149	11,9	49,5	32,7	12,1	95,2	9,2
	755	12,7	148	12,0	49,5	32,6	12,3	95,5	9,3
	754	12,6	148	12,0	49,6	32,8	12,2	95,8	9,1
	755	12,7	148	12,0	49,8	32,7	12,0	95,4	9,0
	754	128	148	11,9	49,7	32,5	12,1	95,6	9,1
	749	7,7	143	7,0	49,5	27,7	7,2	90,5	4,2
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>1082</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.



**Tabla 6. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{241}\text{Am}$  (3kBq)**

<b>Calidad de la radiación</b>	<b>Posiciones relativas de la fuente (cps)</b>								
<b><math>^{241}\text{Am}</math> (AI-8956)</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
	291	7,5	27,7	7,5	13,1	14,7	10,8	20,3	7,0
	293	7,5	27,8	7,6	13,1	14,7	10,8	20,4	7,0
	292	7,5	27,8	7,4	13,2	14,7	10,7	20,4	7,1
	292	7,4	27,9	7,5	13,2	14,7	10,8	20,3	7,0
	293	7,6	27,8	7,5	13,2	14,6	10,8	20,4	7,1
	292	7,5	28,0	7,5	13,1	15,0	10,7	20,0	7,0
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>401</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 7. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{241}\text{Am}$  40 (kBq)**

<b>Calidad de la radiación</b>	<b>Posiciones relativas de la fuente (cps)</b>								
	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b><math>^{241}\text{Am}</math> (AI-8910)</b>	173,6	11,8	42,6	9,0	28,0	24,7	14,0	38,0	10,6
	173,7	11,7	42,6	9,0	27,9	27,6	13,9	37,9	10,6
	173,6	11,8	42,5	9,0	28,0	24,7	13,8	37,8	10,5
	173,6	11,6	42,6	9,1	27,9	24,7	13,9	37,9	10,5
	173,5	11,7	42,6	9,0	27,9	24,6	13,9	37,8	10,6
	168,6	6,7	37,6	4,0	23,0	20,3	8,9	32,9	5,6
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>308</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 8. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{129}\text{I}$**

<b>Calidad de la radiación</b>	<b>Posiciones relativas de la fuente (cps)</b>								
<b><math>^{129}\text{I}</math> (AI-8911)</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
	844	21,7	162,1	20,8	73,4	71,7	18,0	115,7	20,5
	843	21,7	162,2	20,7	73,4	71,8	18,0	115,4	20,5
	844	21,6	162,1	20,7	73,3	71,6	17,9	115,3	20,4
	843	21,7	162,2	20,8	73,4	71,8	18,0	115,5	20,6
	843	21,7	162,2	20,7	73,3	71,7	18,0	115,7	20,4
	838	16,7	157,2	15,8	68,4	66,7	13,0	110,5	15,5
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>1302</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 9. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{238}\text{Pu}$**

<b>Calidad de la radiación</b>	<b>Posiciones relativas de la fuente (cps)</b>								
$^{238}\text{Pu}$ (AI-8912)	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
	376	11,1	71,7	7,8	34,2	28,7	9,8	51,1	7,8
	376	11,1	71,6	7,7	34,2	28,7	9,8	51,2	7,8
	377	11,0	71,7	7,8	34,3	28,6	9,7	51,1	7,8
	376	10,9	71,7	7,9	34,2	28,7	9,8	51,2	7,7
	378	11,0	71,6	7,8	34,3	28,6	9,7	51,1	7,8
	372	6,0	66,7	2,8	29,3	23,7	4,8	46,2	2,8
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>554</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 10. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{57}\text{Co}$**

<b>Calidad de la radiación</b>	<b>Posiciones relativas de la fuente (cps)</b>								
<b><math>^{57}\text{Co}</math> (AI-8913)</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
	19,6	7,8	8,3	6,5	6,6	7,1	5,9	7,2	6,7
	19,7	7,7	8,3	6,5	6,6	7,0	5,8	7,2	6,8
	19,7	7,8	8,4	6,5	6,7	7,1	5,8	7,3	6,8
	19,7	7,8	8,4	6,4	6,7	7,0	5,9	7,2	6,7
	19,6	7,7	8,4	6,5	6,6	7,0	5,8	7,3	6,8
	14,7	2,8	3,4	1,5	1,7	2,1	0,9	2,3	1,8
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>31</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 11. Datos obtenidos de las posiciones relativas de la fuente  $^{137}\text{Cs}$**

<b>Calidad de la radiación</b>	<b>Posiciones relativas de la fuente (cps)</b>								
$^{137}\text{Cs}$ (AI-8914)	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
	34,6	9,8	10,7	7,1	8,5	9,2	7,5	9,7	9,7
	34,7	9,8	10,8	7,1	8,6	9,3	7,5	9,8	9,6
	34,7	9,7	10,8	7,1	8,6	9,2	7,5	9,7	9,6
	34,6	9,7	10,8	7,1	8,5	9,2	7,5	9,8	9,7
	34,6	9,7	10,9	7,1	8,6	9,2	7,5	9,8	9,6
	29,7	4,8	5,8	2,1	3,6	4,2	2,5	4,8	4,7
<b>Promedio total (cps)</b>	<b>62</b>								

En esta tabla se reflejan los datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector BERTHOLD LB 124, utilizando una fuente plana, en donde se tuvo que esperar un intervalo de 5 segundos para anotar cada lectura de radiación obtenida con el detector, obteniendo un promedio de las 5 mediciones y restando el promedio de datos obtenidos de las mediciones de fondo con el detector, de esta manera se utilizó una base geométrica con 9 áreas de 100 cm<sup>2</sup> enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tenía que ser de 3mm.

**Tabla 12. Cálculo del decaimiento de las tasa de emisión Superficial para el día de la calibración.**

Fuente	Fecha de calibración	Fecha de medición	Tasa de emisión del certificado de la fuente (s <sup>-1</sup> )	Semiperiodo (días )	Días transcurridos	Tasa de emisión actual (s <sup>-1</sup> )
<sup>90</sup> Sr	17-10-16	19-03-19	4,09x10 <sup>3</sup>	10592,25	883	3860
<sup>36</sup> Cl	11-10-16		1,7 x10 <sup>3</sup>	109940,25	889	1690
<sup>14</sup> C	04-10-16		1,34 x10 <sup>3</sup>	2033712	896	1340
<sup>99</sup> Tc	28-08-16		1,34 x10 <sup>3</sup>	77200000	933	1340
<sup>241</sup> Am 3kBq	07-10-16		1,52 x10 <sup>3</sup>	157788	893	1514
<sup>241</sup> Am 40 kbq	01-03-17		4700	157788	748	4685
<sup>129</sup> I	28-02-17		9300	5880525000	749	9300
<sup>238</sup> Pu	18-04-17		2800	32047,035	700	2758
<sup>57</sup> Co	01-03-17		11700	271,78	748	1737
<sup>137</sup> Cs	27-02-17		4200	10975,76	750	4006

En esta tabla se reflejan la fecha de calibracion de cada fuente, fecha de medición actual, los datos obtenidos de la tasa de emisión de los certificados de cada fuente, su semiperiodo, sus días transcurridos, de esta manera calcular la tasa de emisión actual con la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ emisión_{actual} = tasa\ de\ emisión\ fuente\ e^{\frac{-ln2}{T}(t)}$$

Donde

$T$  Semiperiodo de la fuente (días)

$t$  días transcurridos

**Tabla 13. Cálculo de la eficiencia de cada fuente plana**

<b>Fuente</b>	<b>Tasa de emisión actual (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Promedio (cps)</b>	<b>Área del detector (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Eficiencia (cps s<sup>-1</sup> cm<sup>2</sup>)</b>
<sup>90</sup> Sr	3860	3550	172,8	0,5322
<sup>36</sup> Cl	1690	1541		0,5276
<sup>14</sup> C	1340	399		0,1722
<sup>99</sup> Tc	1340	1082		0,4671
<sup>241</sup> Am 3kBq	1514	401		0,1531
<sup>241</sup> Am 40 kBq	4685	308		0,0380
<sup>129</sup> I	9300	1302		0,0810
<sup>238</sup> Pu	2758	554		0,1162
<sup>57</sup> Co	1737	31		0,0103
<sup>137</sup> Cs	4006	62		0,0090

En esta tabla observamos los tipos de fuente planas, tasa de emisión actual calculada, promedio de las cps obtenidas con el detector, el area del detector, realizando el cálculo de la eficiencia del detector con la siguiente ecuación:

$$eficiencia = \frac{cps}{\left(\frac{tasa\ de\ emisión}{100}\right)} (172,8\ cm^2)$$

Donde

*cps* Promedio de las cuentas por segundos obtenidas de las lecturas del detector

172,8 cm<sup>2</sup> área del detector BERTHOLD LB 124



**Tabla 14. Parámetro y resultado de los grupos de radiaciones según comparados con la norma ISO 7503- 2016**

Parámetro	Radionucleo <sup>131</sup> I								
	Grupos de radiaciones según ISO 7503 :2016								
	<sup>241</sup> Am	<sup>14</sup> C	<sup>99</sup> Tc	<sup>36</sup> Cl	<sup>90</sup> Sr	<sup>129</sup> I	<sup>238</sup> Pu	<sup>57</sup> Co	<sup>137</sup> Cs
	A	$\beta$ y $\bar{e}$ 40 – 70 keV	$\beta$ y $\bar{e}$ 70 – 140 keV	$\beta$ y $\bar{e}$ 140 – 400 keV	$\beta$ y $\bar{e}$ > 400 keV	Fotones 5 – 15 keV	Fotones 15 – 90 keV	Fotones 90 – 300 keV	Fotones > 300 keV
$\varepsilon_{i,j}$	0,1531	0,1722	0,4675	0,5276	0,5522	0,0810	0,1162	0,0103	0,0089
$\gamma_j [s^{-1} \cdot Bq^{-1}]$	0,000	0,056	0,084	0,924	0,000	0,000	0,075	0,064	0,915
$\varepsilon_{s,j}$	0,250	0,250	0,250	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
$(\varepsilon_{i,j}) (\gamma_j)$ $(\varepsilon_{s,j})$	0,000	0,003	0,010	0,254	0,000	0,000	0,005	0,000	0,004
$\sum_j [s^{-1} \cdot Bq^{-1}]$	0,276								

$\varepsilon_{i,j}$  eficiencia del detector para cada fuente

$\gamma_j [s^{-1} \cdot Bq^{-1}]$  probabilidad de emisión

$\varepsilon_{s,j}$  contaminación de la fuente efectiva

En esta tabla aplicamos el formalismo establecido en la norma ISO 7503-3 (2016) donde se parte del conocimiento de las eficiencias para cada rango de energía se conoce la probabilidad de emisión y considerando la contaminación de la fuente efectiva, podemos multiplicar estos valores para encontrar el inverso del factor de calibración.

**Tabla 15. Cálculo del factor de calibración**

Área del detector [ $cm^2$ ]	$\sum_j [s^{-1} \cdot Bq^{-1}]$	Factor de calibración [ $Bq \cdot cm^{-2} \cdot s$ ]
172,8	0,276	0,020

$$FC = \frac{1}{(0,276 s^{-1} \cdot Bq^{-1})(172,8 cm^2)}$$

$$FC = [0,020 Bq \cdot cm^{-2} \cdot s]$$

**Tabla 16. Incertidumbres del coeficiente de calibración**

En el cálculo de la incertidumbre de las mediciones se consideran dos clasificaciones para las componentes de la incertidumbre, generalmente clasificados como:

Tipo A y Tipo B, dependiendo del método para evaluarlos.

**Tipo A:** cualquier método para evaluar la incertidumbre utilizando análisis estadístico de una serie de observaciones (por ejemplo, datos estadísticos de los resultados de control de calidad).

**Tipo B:** método para evaluar incertidumbre por otros medios que no sean análisis estadísticos de una serie de observaciones (por ejemplo: datos obtenidos de un certificado de calibración o información asociada con una cantidad numérica publicada autorizada).

Factores	Tipo A (%)	Tipo B (%)
Actividad superficial de la fuente patrón		<b>X</b>
Medicion del instrumento	<b>X</b>	<b>X</b>
Medicion del fondo del intrumento	<b>X</b>	<b>X</b>
Semulacion de fuente seminfinita (bordes )		<b>X</b>
No uniformidad de detención del instrumento	<b>X</b>	<b>X</b>
No Homogeneidad de la fuente patron		<b>X</b>
Dimensiones del area activa de la fuente		<b>X</b>
Posicionamiento general		<b>X</b>

## VII. Conclusiones

En este trabajo se elaboró un protocolo para la calibración de monitores de contaminación superficial, en donde se realiza utilizando un set de 10 fuentes planas, aplicando el procedimiento establecido en la ISO 7503-3, se aplicó el método para calibrar un monitor de contaminación superficial con un área mayor a  $100\text{cm}^2$  (fuente infinita)

Se obtuvieron las eficiencias de detección para las 10 fuentes planas considerando sus propiedades como son el semiperiodo, la fecha de calibración, la emisión superficial a la fecha de calibración y el tiempo transcurrido hasta que se hizo la calibración.

Se diseñó un sistema de posicionamiento estable nivelado para el posicionamiento adecuado del detector BERTHOLD LB 124, se utilizó una base geométrica con 9 áreas de  $100\text{ cm}^2$  enumeradas desde el área número 1 hasta la área número 9, siendo el área de la posición central la numero 5. Se pudo tener la contribución de cada una de las fuentes en las diferentes posiciones, teniendo en cuenta que al momento de ubicar la fuente la separación del detector a la fuente tiene que ser de 3mm. Se diseñó una hoja de cálculo en excell para registrar los datos y realizar los cálculos de las eficiencias actuales para cada fuente.

Se calculó experimentalmente el factor de calibración para el  $^{131}\text{I}$  utilizando el set de fuentes planas, considerando el área de detección del detector, se aplicó lo establecido en la ISO 7503-3 (2016) se determinó el factor de calibración de  $FC= 0,020 [\text{Bq.cm}^{-2}.\text{s}]$  para medir  $^{131}\text{I}$  utilizando el detector Berthold

## **VIII. Recomendaciones**

Mejorar el sistema de posicionamiento utilizando una manera mas adecuada, de acuerdo al juego de pinzas para tener un mejor agarre y buena presentacion al momento de realizar el montaje donde va estar el detector ubicado a 3mm de la fuente de radiación.

## IX. Bibliografía

1. 7503-1, I. S. (1988). En *Evaluation of Surface Contamination. Part 1: Beta Emitters (Maximum Beta-Energy Greater than 0.15 Mev) and Alpha-Emitters*. Geneva.
2. 7503-3, I. (2016). Measurement of radioactivity Measurement and evaluation of surface contamination Part 3: Apparatus calibration. Switzerland: ISO Copyright office.
3. 8769, I. (2016). Reference sources Calibration of surface contamination monitors Alpha, beta and photon emitters . Switzerland: ISO copyright office.
4. Attix., F. H. (2004). Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. WILEY-VCH, Weinheim.
5. Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments. Safety Reports, Series No.16.IAEA,Vienna, 1999.
6. PR/LSCD/ Procedimiento para el control interno de calidad de equipos y proceso de calibración.

## **X. Anexos**

### **Glosario**

**Contaminación superficial:** Es la presencia no deseada de una sustancia radiactiva sobre una superficie en cantidades superiores a las establecidas por la presente norma, dicha contaminación puede ser fija o removible.

**Contaminación superficial fija:** Aquella que no es transferida de superficies contaminadas a superficies no contaminadas, cuando éstas tienen contacto accidental.

**Contaminación superficial removible:** Aquella que puede ser transferida de superficies contaminadas a superficies no contaminadas, cuando éstas tienen contacto accidental.

**Frotis:** Método para determinar la contaminación superficial, consistente en frotar con material absorbente de tela de algodón o papel filtro la superficie contaminada para tomar una muestra del material radiactivo removible, que se evaluará subsecuentemente.

**Zona Controlada:** Es la zona sujeta a supervisión y controles especiales con fines de protección radiológica.

### **Método para evaluar la contaminación superficial**

La contaminación superficial se puede evaluar por métodos de medición directa e indirecta.

**La medición directa,** se lleva a cabo con contadores de contaminación superficial y monitores que responden a la contaminación removible y fija.

**La evaluación indirecta,** es generalmente llevada a cabo por medio de pruebas de frotis y solamente la contaminación superficial removible puede ser evaluada.



**Imagen 3. Tabla de posiciones donde se ubicó la fuente.**



**Imagen 4. Montaje experimental. Fuente propia**



Imagen 5. Set de Fuentes plana. Fuente propia

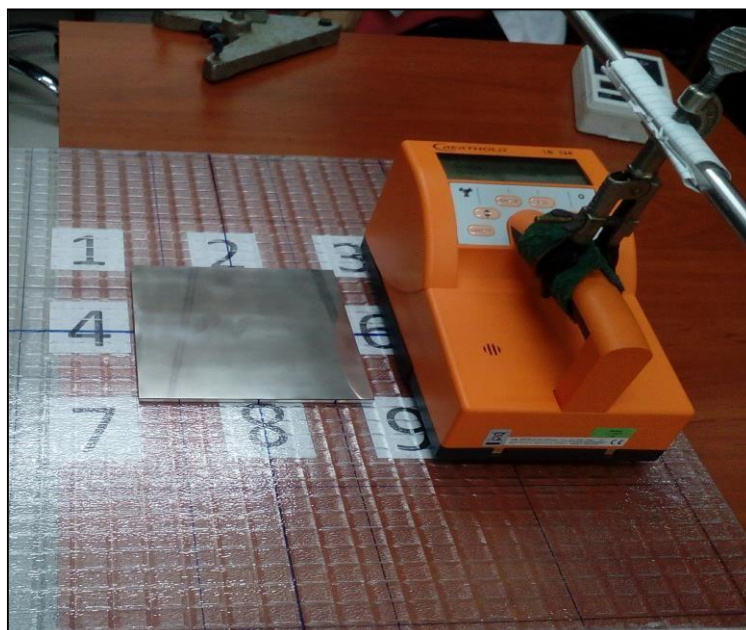


Imagen 6. Posicionamiento de la fuente en el punto de referencia. Fuente propia





**Imagen 7. Detector BERTHOLD LB 124. Fuente propia**

Microsoft Excel											
Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista											
<div>Portapapeles Fuente Alineación Número Formato condici</div>											
K17 Prom. Total											
Calculo de Berthold 190319											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
16											
17	Calidad de la radiación	Posiciones relativas de las fuentes									Prom. Total
18		5	1	2	3	4	6	7	8	9	
19											
20	Sr-90+Y-90										
21	(Al-8952)										
22	3kBq										
23											
24											
25											
26	Cl-36										
27	(Al-8953)										
28	3kBq										
29											
30											
31											
32	C-14										
33	(Al-8954)										
34	3kBq										
35											
36											

Imagen 8. Tablas realizadas en la hoja de calculo excel para anotar las lecturas obteninas con el detector al momento de ubicar la funte plana .

Calculo de Berthold 190319 - Microsoft Excel

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Cortar Copiar Pegar Copiar formato Portapapeles Fuente Alineación Combinar y centrar Ajustar texto General Número Formato condicional

D46

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
37											
38	Tc-99 (AI-955)										
39	3kBq										
40											
41											
42											
43											
44	Am-241										
45	(AI-8956)										
46	3kBq										
47											
48											
49											
50	Am-241										
51	(GAMMA										
52	GRANDE)										
53	AI-8910										
54	40kBq										
55											
56											
57											
58	I-129										
59	(AI-8911)										
60	30kBq										
61											
62											

Imagen 9. Tablas realizadas en la hoja de calculo excel para anotar las lecturas obtenidas con el detector al momento de ubicar la fuente plana

Calculo de Berthold 190319 - Microsoft Excel

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Cortar Copiar Copiar formato Pegar Portapapeles Fuente Alineación Número Formato condicional

Arial 11 Ajustar texto General

N K S Fuente Alineación Número

D46 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
63											
64	Pu-238										
65	(AI-8912)										
66	200kBq										
67											
68											
69	Co-57										
70	(AI-8913)										
71	35kBq										
72											
73											
74											
75											
76	Cs-137										
77	(AI-8914)										
78	10kBq										
79											
80											

Imagen 10. Tablas realizadas en la hoja de calculo excel para anotar las lecturas obtenidas con el detector al momento de ubicar la fuente plana

Inicio											
Insertar											
Diseño de página											
Fórmulas											
Datos											
Revisar											
Vista											
Cortar											
Copiar											
Pegar											
Copiar formato											
Portapapeles											
Fuente											
Alineación											
Número											
Estilos											
Formato condicional											
Dar formato como tabla											
Estilos de celda											
K25											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
16											
17	Calidad de la radiación	Posiciones relativas de las fuentes									Prom. Total
18		5	1	2	3	4	6	7	8	9	
19		2269	43.6	432	36.5	221.7	160.2	37.3	340	41.6	
20	Sr-90+Y-90	2279	44.4	432	35.6	222.8	160.1	37.4	342	41.4	
21	(AI-8952)	2275	44.7	432	36.7	222.3	159.8	37.2	342	41.6	
22	3kBq	2288	44.8	432	36.7	222.1	159.9	37.2	342	40.7	
23		2287	45.1	433	36.6	221.4	159.8	37	342	40.7	
24		2275	39.5	427	31.4	217	155	32.2	337	36	3550
25		1034	23.7	128	15.9	96.2	67.5	21.6	174.8	22.3	
26	Cl-36	1037	23.6	128.1	15.8	96.4	67.5	21.4	175.2	22.7	
27	(AI-8953)	1036	23.6	127.6	15.9	96.3	67.7	21.4	175.7	22.4	
28	3kBq	1037	23.5	127.1	15.8	96.2	67.6	21.1	175.5	22.5	
29		1036	23.5	126.9	15.9	96	67.2	21.3	175.6	22.6	
30		1031	18.6	123	10.9	91	63	16.4	170	17.5	1541
31		285	6.7	45.1	5.9	17.4	18.8	8	49.6	6.5	
32	C-14	285	6.7	45.1	6	17.5	18.9	8.1	49.8	6.5	
33	(AI-8954)	285	6.7	45	6.2	17.4	18.8	8	50.1	6.6	
34	3kBq	284	6.8	45.2	6.3	17.4	18.8	8.1	49.8	6.5	
35		285	6.7	45.4	6.5	17.5	18.8	7.9	49.7	6.7	
36		280	1.7	40.2	1.2	12.5	13.8	3.0	44.8	1.6	399

Imagen 11. Datos obtenidos de las posiciones relativas de cada fuente plana utilizando la hoja la hoja de calculo excel.

<div> <div>Archivo</div> <div>Inicio</div> <div>Insertar</div> <div>Diseño de página</div> <div>Fórmulas</div> <div>Datos</div> <div>Revisar</div> <div>Vista</div> </div>											
<div> <div> <div>Cortar</div> <div>Copiar</div> <div>Pegar</div> <div>Portapapeles</div> </div> <div> <div>Arial</div> <div>11</div> <div>A</div> <div>K</div> <div>S</div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div>Ajustar texto</div> <div>Combinar y centrar</div> </div> <div> <div>Número</div> <div>%</div> <div>000</div> <div>00</div> <div>0</div> </div> <div> <div>Formato condicional</div> <div>Dar formato como tabla</div> <div>Estilos de celda</div> </div> </div>											
<div> <div>K56</div> <div>=SUMA(B56:J56)</div> </div>											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
37		754	12.8	149	11.9	49.5	32.7	12.1	95.2	9.2	
38	Tc-99 (AI-955)	755	12.7	148	12	49.5	32.6	12.3	95.5	9.3	
39	3kBq	754	12.6	148	12	49.6	32.8	12.2	95.8	9.1	
40		755	12.7	148	12	49.8	32.7	12	95.4	9	
41		754	12.8	148	11.9	49.7	32.5	12.1	95.6	9.1	
42		749	7.7	143	7.0	44.6	27.7	7.2	90.5	4.2	1082
43		291	7.5	27.7	7.5	13.1	14.7	10.8	20.3	7	
44	Am-241	293	7.5	27.8	7.6	13.1	14.7	10.8	20.4	7	
45	(AI-8956)	292	7.5	27.8	7.4	13.2	14.7	10.7	20.4	7.1	
46	3kBq	292	7.4	27.9	7.5	13.2	14.7	10.8	20.3	7	
47		293	7.6	27.8	7.5	13.2	14.6	10.8	20.4	7.1	
48		292	7.5	28	7.5	13.1	15	10.7	20	7	401
49											
50	Am-241	173.6	11.8	42.6	9	28	24.7	14	38	10.6	
51	(GAMMA										
52	GRANDE)	173.7	11.7	42.6	9	27.9	27.6	13.9	37.9	10.6	
53	AI-8910	173.6	11.8	42.5	9	28	24.7	13.8	37.8	10.5	
54	40kBq	173.6	11.6	42.6	9.1	27.9	24.7	13.9	37.9	10.5	
55		173.5	11.7	42.6	9	27.9	24.6	13.9	37.8	10.6	
56		168.6	6.7	37.6	4.0	23.0	20.3	8.9	32.9	5.6	308

Imagen 12. Datos obtenidos de las posiciones relativas de cada fuente plana utilizando la hoja la hoja de calculo excel.

ArchivoInicioInsertarDiseño de páginaFórmulasDatosRevisarVista											
Cortar		Copiar		Copiar formato		Calibri11		Ajustar texto		General	
Pegar								Combinar y centrar		%	
Portapapeles		Fuente		Alineación		Número					
L81fx											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
56		168.6	6.7	37.6	4.0	23.0	20.3	8.9	32.9	5.6	308
57		844	21.7	162.1	20.8	73.4	71.7	18	115.7	20.5	
58	I-129	843	21.7	162.2	20.7	73.4	71.8	18	115.4	20.5	
59	(AI-8911)	844	21.6	162.1	20.7	73.3	71.6	17.9	115.3	20.4	
60	30kBq	843	21.7	162.2	20.8	73.4	71.8	18	115.5	20.6	
61		843	21.7	162.2	20.7	73.3	71.7	18	115.7	20.4	
62		838	16.7	157.2	15.8	68.4	66.7	13.0	110.5	15.5	1302
63		376	11.1	71.7	7.8	34.2	28.7	9.8	51.1	7.8	
64	Pu-238	376	11.1	71.6	7.7	34.2	28.7	9.8	51.2	7.8	
65	(AI-8912)	377	11	71.7	7.8	34.3	28.6	9.7	51.1	7.8	
66	200kBq	376	10.9	71.7	7.9	34.2	28.7	9.8	51.2	7.7	
67		378	11	71.6	7.8	34.3	28.6	9.7	51.1	7.8	
68		372	6.0	66.7	2.8	29.3	23.7	4.8	46.2	2.8	554
69	Co-57	19.6	7.8	8.3	6.5	6.6	7.1	5.9	7.2	6.7	
70	(AI-8913)	19.7	7.7	8.3	6.5	6.6	7	5.8	7.2	6.8	
71	35kBq	19.7	7.8	8.4	6.5	6.7	7.1	5.8	7.3	6.8	
72		19.7	7.8	8.4	6.4	6.7	7	5.9	7.2	6.7	
73		19.6	7.7	8.4	6.5	6.6	7	5.8	7.3	6.8	
74		14.7	2.8	3.4	1.5	1.7	2.1	0.9	2.3	1.8	31
75		34.6	9.8	10.7	7.1	8.5	9.2	7.5	9.7	9.7	
76	Cs-137	34.7	9.8	10.8	7.1	8.6	9.3	7.5	9.8	9.6	
77	(AI-8914)	34.7	9.7	10.8	7.1	8.6	9.2	7.5	9.7	9.6	
78	10kBq	34.6	9.7	10.8	7.1	8.5	9.2	7.5	9.8	9.7	
79		34.6	9.7	10.9	7.1	8.6	9.2	7.5	9.8	9.6	
80		29.7	4.8	5.8	2.1	3.6	4.2	2.5	4.8	4.7	62

Imagen 13. Datos obtenidos de las posiciones relativas de cada fuente plana utilizando la hoja la hoja de calculo excel.